

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Model nuceného odtahu spalin  
Model of forced flue

Student:

Bc. Milan Gejdoš

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Noga, Csc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Milan Gejdoš**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Model nuceného odtahu spalin**  
**Model of Forced Flue**

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří katedry 340 FS navrhnete model nuceného odtahu spalin z průmyslové pece vytápěné plyným palivem vybavený kondenzačním výměníkem. Při zpracovávání 3D modelu konstrukčního návrhu zařízení respektujte prostorové možnosti laboratoře. Pozornost věnujte zejména návrhu výměníku a způsobu hodnocení jeho práce .

Proved'te:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci modelu nuceného odtahu spalin.

Rozsah výtahu z rešerše z Diplomového projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 2A0.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

*Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

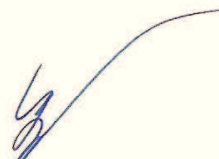
Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě : 20.5.2013 .....

Milan Gajdos .....

Plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Na Farském 1305

Šenov u Ostravy 739 34

Česká republika

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

GEJDOŠ, M. Model nuceného odtahu spalin. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2013, 76 s. Diplomová práce, vedoucí: Noga, Z.

Diplomová práce se zabývá návrhem modelu nuceného odtahu spalin. Důraz je kladen na návrh teplosměnné plochy s ohledem na pracovní náplň tepelných trubíc. V úvodu jsou popsány způsoby využití odpadního tepla včetně praktického využití tepelných trubíc.

Rozbor konstrukčního návrhu je proveden v členění: požadavkový list, funkční, orgánová struktura a morfologická matice. Ve výpočtové části je proveden návrh teplosměnné plochy, energetické bilance a srovnání hodnot spalin s ohříváním vzduchem.

Závěrečná část obsahuje technický popis navrženého zařízení. Sestavné výkresy navrženého zařízení jsou uvedeny v příloze.

## **ANNOTATION OF THESIS**

GEJDOŠ, M. Model of forced flue. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2013, 76 p. Diploma Thesis, leader: Noga, Z.

This Diploma Thesis deals with the model forced flue gases. Emphasis is laid on the heat transfer surface with regard to the workload of heat pipes. The introduction describes the recovery of waste heat, including practical use of heat pipe. Analysis of the design is performed in structure: the wish lists, functional, organ structure and morphological matrix.

In the calculation part, the design of a heat transfer surface energy balance and comparing flue gas with heated air. The final section provides a technical description of the proposed facility. General arrangement drawings of proposed facilities are provided in the Annex.

## Obsah

<b>SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ.....</b>	<b>3</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>2 VYUŽITÍ TEPELNÉ ENERGIE SPALIN – <sup>[1]</sup>.....</b>	<b>8</b>
2.1 VYUŽITÍ LATENTNÍ TEPELNÉ ENERGIE U KONDENZAČNÍ TECHNIKY - <sup>[2]</sup> .....	9
2.1.1 Výměník tepla WT 30 do WT 70- Buderus - <sup>[3]</sup> .....	11
2.2 TEPELNÉ TRUBICE – <sup>[4]</sup> .....	12
2.2.1 Tepelné trubice – konstrukce, výkon a vlastnosti.....	14
2.2.2 Využití tepelných trubic ve výměníku – <sup>[5]</sup> .....	16
<b>3 NÁVRH MODELU PRO NUCENÝ ODTAH SPALIN– <sup>[6]</sup> ....CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ</b>	
<b>DEFINOVÁNA.</b>	
3.1 POŽADAVKOVÝ LIST.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.2 ČERNÁ SKŘÍNKÁ.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.3 TECHNOLOGIE MODELU NUCENÉHO ODTAHU SPALIN.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.4 TECHNICKÝ PROCES (HLAVNÍ TOK).....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.5 FUNKČNÍ STRUKTURA .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.6 MORFOLOGICKÁ MATICE .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
3.7 ORGÁNOVÁ STRUKTURA MODELU NUCENÉHO ODTAHU SPALIN ..	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
<b>4 VÝPOČTOVÁ ČÁST .....</b>	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.1 OHŘEV A ZVLHČENÍ VZDUCHU - <sup>[7], [8], [9]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.2 CHLAZENÍ SEKČÍ <sup>[7], [8], [9]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.2.1 Chlazení sekce – 1.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.2.2 Chlazení sekce – 2.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.2.3 Chlazení sekce – 3.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3 NÁVRH TEPLSMĚNNÝCH PLOCH SEKČÍ - <sup>[9], [10], [11], [12]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.3.1 Sekce – 1.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3.1.1 Tvar a rozměry tepelných trubic první sekce chlazení vzduchu - <sup>[12]</sup> .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3.2 Sekce – 2.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3.2.1 Tvar a rozměry tepelných trubic druhé sekce chlazení vzduchu.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3.3 Sekce – 3.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3.3.1 Tvar a rozměry trubic třetí sekce chlazení vzduchu .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.4 HYDRAULICKÝ ODPOR VÝMĚNÍKU - <sup>[13], [14]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.4.1 Hydraulický odpor prvního svazku žebrovaných tepelných trubic - <sup>[13]</sup> .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.4.2 Hydraulický odpor druhého svazku žebrovaných tepelných trubic.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.4.3 Hydraulický odpor třetího svazku žebrovaných tepelných trubic.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.4.4 Hydraulický odpor mříže - <sup>[14]</sup> .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.4.5 Celkový hydraulický odpor.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.5 VENTILÁTOR <sup>[15]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.6 VODNÍ ČÁST VÝMĚNÍKU - <sup>[12], [16]</sup> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
4.6.1 Ohřev vody – 1 svazek .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.6.2 Ohřev vody – 2 svazek .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.6.3 Ohřev vody – 3 svazek .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
<b>5 SROVNÁNÍ HODNOT SPALIN S OHŘÍVANÝM VZDUCHEM MODELU - <sup>[7], [12], [17]</sup></b>	
<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>	
<b>6 ENERGETICKÁ BILANCE <sup>[16]</sup> .....</b>	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
6.1 POTENCIÁLNĚ VYUŽITELNÁ ENERGIE .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>

7	TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ .....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
8	ZÁVĚR.....	18
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	19
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	20



## Seznam použitého označení

Označení	Jednotka	Popis
$Q_{vz}$	$m^3/s$	objemový průtok vzduchu
$Q_v$	$m^3/s$	objemový průtok vody
$Q_m$	$kg/s$	hmotnostní průtok vzduchu
$Q_{mv}$	$kg/s$	hmotností průtok vody
$t$	$^{\circ}C$	teplota vzduchu (vody)
$t_s$	$^{\circ}C$	střední teplota vzduchu (vody)
$t_v$	$^{\circ}C$	teplota varu pracovní náplně
$p$	$Pa$	atmosférický tlak vzduchu
$p_p$	$Pa$	parciální tlak vzduchu
$\Delta p$	$Pa$	hydraulický odpor svazku
$\Delta p_c$	$Pa$	celkový hydraulický odpor
$x$	$kg/kg_{sv}$	měrná vlhkost vzduchu
$h$	$kJ/kg$	entalpie vzduchu
$c_{pv}$	$kJ/kg\ K$	měrná tepelná kapacita vzduchu
$c_w$	$kJ/kg\ K$	měrná tepelná kapacita vody
$l_v$	$kJ/kg$	výparné teplo vody
$l_{vp}$	$m$	délka výparné části trubice
$m_{sv}$	$kg_{sv}$	hmotnost suchého vzduchu
$m_w$	$kg/s$	množství vody pro zvlhčení vzduchu
$m_{wk}$	$kg$	množství kondenzátu
$m_{vt}$	$kg$	celkové množství náplně v trubicích svazku
$Q_L$	$J$	energie pro ohřev vzduchu
$Q_w$	$J$	energie pro ohřev vody
$Q_{od}$	$J$	energie pro odpaření vody
$Q_c$	$J$	celková tepelná energie pro ohřev vzduchu
$Q_{ch}$	$J$	chladicí výkon

$Q_{wk}$	J	tepelná energie odvedená kondenzátem
$Q_v$	J	tepelná energie chladící vody
$Q_{cv}$	J	celková tepelná energie chladící vody
$Q_{odv}$	J	předané teplo chladící vodě
$V_{tr}$	ml	objem pracovní náplně jedné trubice
$V_{vp}$	ml	objem výparné části jedné trubice
$n_{tr}$	ks	teoretický počet trubic ve svazku
$n_{\dot{z}}$	ks	počet žebër
$n_u$	[-]	počet mezer mezi žebry
$n_{sv}$	ks	skutečný počet žebrovaných trubic ve svazku
$z_2$	ks	počet řad trubic v podélném směru
$n_l$	ks	počet trubic v liché řadě
$n_{lc}$	ks	celkový počet trubic v lichých řadách
$n_s$	ks	počet trubic v sudé řadě
$n_{sc}$	ks	celkový počet trubic v sudých řadách
$d_v$	m	vnitřní průměr trubice
$d$	m	vnější průměr trubice
$D$	m	vnější průměr žebra
$s_{\dot{z}}$	m	rozteč mezi žebry
$w$	m/s	rychlost vzduchu (vody)
$C_z$	[-]	korekční součinitel na počet řad svazku
$C_s$	[-]	korekční součinitel poměrných příčných roztečí
$S_{\dot{z}b}$	m <sup>2</sup>	plocha žebra trubice

$S_v$	$m^2$	obsah vstupního otvoru
$S_{mž}$	$m^2$	plocha trubky mezi žebry
$S_c$	$m^2$	celková plocha žebrované trubky
$S_{sv}$	$m^2$	potřebná plocha pro přestup tepla
$S_{pr}$	$m^2$	průtočný průřez
$F$	$m^2$	plocha mříže
$F_1$	$m^2$	plocha volného průřezu
$g$	$m/s^2$	tíhové zrychlení
$O$	$m$	smočený obvod
$s_1$	$m$	rozměr příčné rozteči
$s_2$	$m$	rozměr podélné rozteči
$h_{\dot{z}}$	$m$	výška žebra
$e_z$	$m$	vzdálenost mezi žebry
$g$	$m$	výška svazku
$h_l$	$m$	šířka svazku
$Re$	$[-]$	Reynoldsovo číslo
$D_H$	$m$	hydraulický průměr
$\varphi$	$\%$	relativní vlhkost vzduchu
$\rho_{sv}$	$kg/m^3$	hustota suchého vzduchu
$\rho_{vp}$	$kg/m^3$	hustota vodní páry
$\rho_{vv}$	$kg/m^3$	hustota vlhkého vzduchu
$\rho_v$	$kg/m^3$	hustota vody
$\lambda$	$W/mK$	součinitel tepelné vodivosti vzduchu
$\lambda_{\dot{z}}$	$W/mK$	součinitel tepelné vodivosti žebra
$\mu$	$[-]$	součinitel rozšíření žebra
$\varepsilon$	$[-]$	součinitel znečištění

$\psi_z$	[-]	koeficient rovnoměrného rozdělení $\alpha_k$
$\delta_z$	m	tloušťka žebra
$\sigma_1$	[-]	poměrná příčná rozteč trubic
$\sigma_2$	[-]	poměrná podélná rozteč trubic
$\varphi_\sigma$	[-]	parametr poměrných roztečí
$\nu$	m <sup>2</sup> /s	kinematická viskozita vzduchu (vody)
$\alpha_k$	W/m <sup>2</sup> K	součinitel přestupu tepla pro vystřídané uspořádání trubic na straně vzduchu
$\alpha_r$	W/m <sup>2</sup> K	redukovaný součinitel přestupu tepla pro vystřídané uspořádání trubic na straně vzduchu
$\xi$	[-]	ztrátový součinitel místního odporu

# 1 Úvod

Snaha o dosažení úspor energie, využívání odpadního tepla a netradičních energetických zdrojů je celosvětově aktuální otázkou prakticky od dob světové energetické krize. Vyžaduje nejen optimální využívání surovin, materiálů a energií, ale i racionálních technologií. Jednou z možností úspor energie je využívání odpadního tepla spalin při spalování zemního plynu. Lze využít spalné a latentní teplo obsažené ve spalinách u klasických kotlů, průmyslových pecí a při kondenzaci spalin.

Tato práce se zabývá návrhem modelu pro nucený odtah spalin, který bude simulovat kondenzační výměník umístěný za pecí vytápěnou plyným palivem. Úkolem modelu má být využití odpadního tepla spalin při spalování zemního plynu a to za využití latentního a spalného tepla obsaženého ve spalinách. Model nuceného odtahu bude navržen jako kondenzační výměník, který má snížit teplotu spalin ze 100°C na přibližnou okolní teplotu laboratoře a dosažení maximálního zkondenzování vodních par. Jako výhřevná plocha bude použito trubkových svazků, které tvoří gravitační tepelné trubice (termosifony).

## 2 Využití tepelné energie spalin – <sup>[1]</sup>

Termodynamickým základem využívání spalného tepla je proces kondenzace ve spalinách. Proto hovoříme o kondenzačním teple, resp. o kondenzačních plochách a zařízeních. Stupeň využití energie dosahovaný v provozu kondenzačních zařízení ovlivňuje mnoho parametrů, které se odlišují účinkem a velikostí. Jsou to například druh paliva, množství spalovacího vzduchu a teplota rosného bodu, ztráty spalinami, ztráty sáláním a provozní teploty systému vytápění. Právě uvedené teploty systému vytápění jsou velmi důležité především v našich podmínkách při modernizaci zdrojů tepla a jejich napojení na existující systémy.

**Paliva vzhledem k obsahu energie charakterizují dva parametry:**

- **výhřevnost ( $H_i$ )** – množství tepla vztahující se na jednotkové množství paliva, které se uvolní při úplném spálení, kdy spaliny ochladíme na referenční teplotu (20 °C), voda ve spalinách je však ve formě páry,
- **spalné teplo ( $H_s$ )** – množství tepla vztahující se na jednotkové množství paliva, které se uvolní při úplném spálení, kdy spaliny ochladíme na referenční teplotu (20 °C), přičemž vodní pára vznikající ve spalovacím procesu odevzdává své kondenzační teplo kondenzováním na teplosměnných plochách.

	Spalné teplo $H_s$ (kWh/m <sup>3</sup> )	Výhřevnost $H_i$ (kWh/m <sup>3</sup> )	$H_s/H_i$	$H_s - H_i$ (kWh/m <sup>3</sup> )	Teoretické množství kondenzátu (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>
Zemní plyn	11,46	10,35	1,11	1,11	1,63
Svítiplyn	5,48	4,87	1,13	0,61	0,89
Propan	28,02	25,80	1,09	2,22	3,37
Topný olej <sup>2)</sup>	10,67	10,08	1,06	0,60	0,88

**Tabulka 1: Přehled vlastností paliv, které jsou důležité pro využívání spalného tepla**

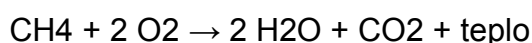
1) vzhledem k množství oleje

2) u topného oleje se údaje vztahují na jednotku litr

Rozhodujícím faktorem pro efektivnost kondenzace spalin je poměr spalného tepla k výhřevnosti ( $H_s/H_i$ ). Čím je tento poměr větší, tím více tepla získáme v důsledku kondenzace spalin.

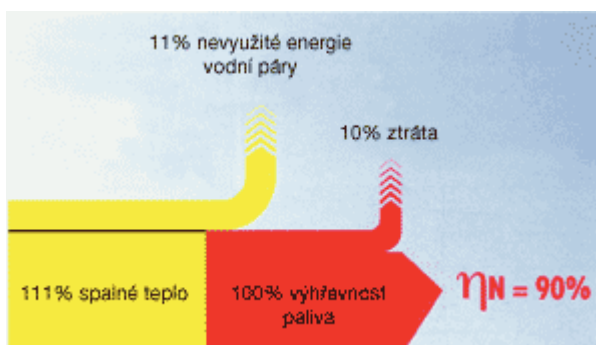
Kondenzační technika je účinná technika proměny zemního plynu nebo topného oleje v užitečné teplo prostřednictvím spalovacího procesu. Podobně jako nízkoteplotní technika se i ona zakládá na myšlence provozovat vytápěcí kotel nebo průmyslovou pec pouze s teplotou nezbytnou k pokrytí aktuální potřeby tepla.

Při spalování topného oleje nebo zemního plynu, tvořených převážně se sloučením uhlíku (C) a vodíku (H), vzniká s reakcí s kyslíkem (O<sub>2</sub>), který je součástí vzduchu, oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a voda (H<sub>2</sub>O). Pro zemní plyn (metan CH<sub>4</sub>) vypadá jednoduchý spalovací vzorec takto:

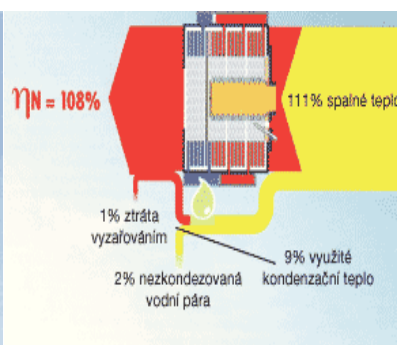


## 2.1 VYUŽITÍ LATENTNÍ TEPELNÉ ENERGIE U KONDENZAČNÍ TECHNIKY - [2]

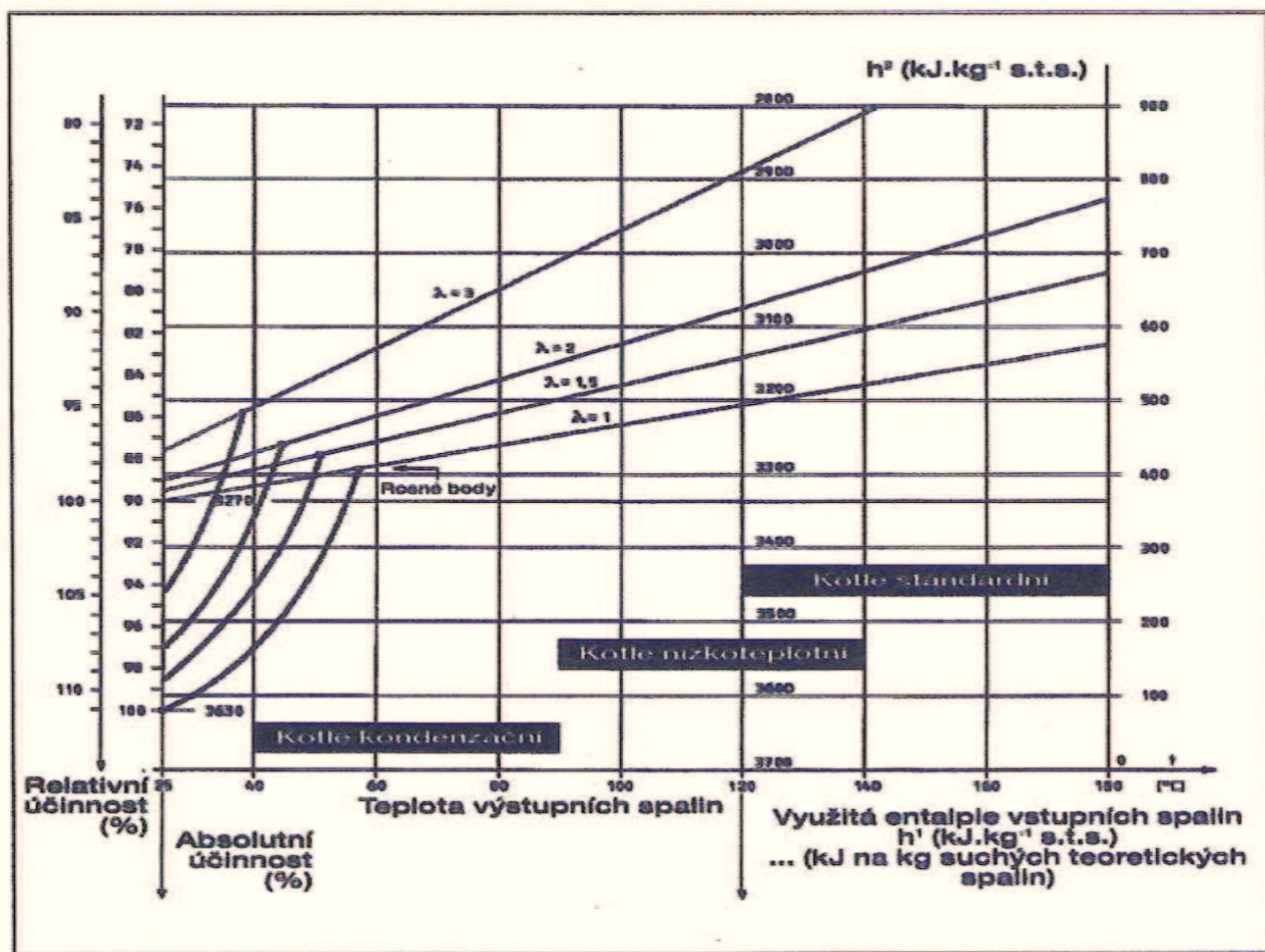
U konvenčních zařízení uteče tato část schované energie (Latentní teplo) nevyužité kouřovodem do atmosféry (viz.obr.1). V kondenzační technice je pomocí kondenzačního výměníku a příslušných teplotních podmínek umožněno maximální využít teploty spalin tak, že vodní pára v nich obsažená předá teplo a změní skupenství - využije se Latentní teplo (viz.obr.2). Změnou skupenství páry ve spalinách se uvolní část energie - **teoreticky max. až 11 % tepelné energie navíc**, která může být využita k ohřevu otopné vody a podstatně zvýšit účinnost tepelného zařízení.



Obr.1 Konvenční technika spalování bez výměníku

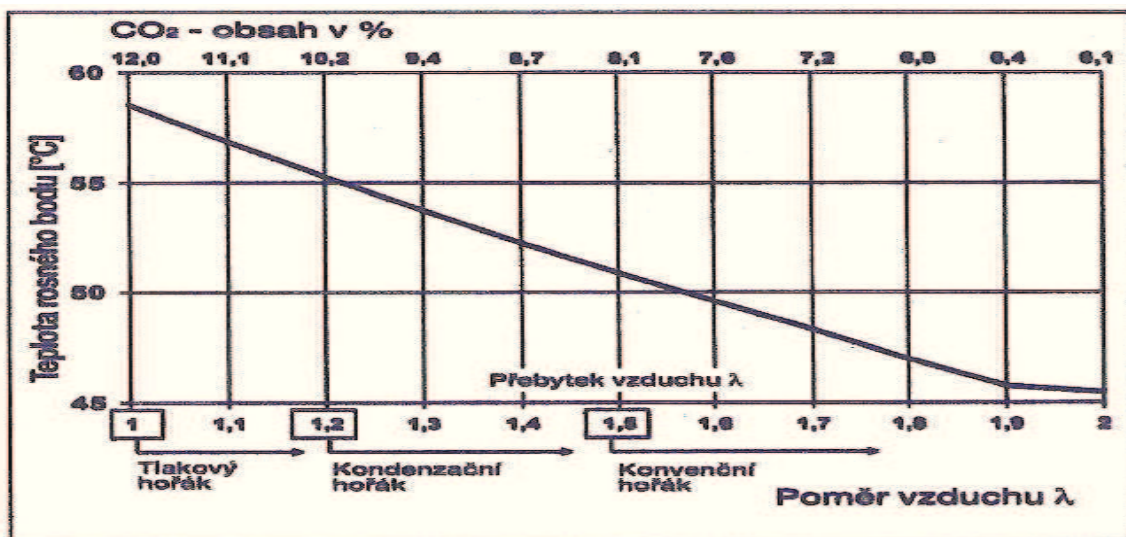


Obr.2 Úspora tep.energie za použití kondenzačního výměníku



Obr.2 Graf závislosti Entalpie na teplotě spalin

Graf závislosti Entalpie na teplotě spalin a na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$  znázorňuje pásma používání tepelné techniky. můžeme odečíst, že při  $\lambda = 1,3$  až  $1,35$ , se musí respektovat rosný bod spalin při spalování zemního plynu (cca 53 °C).



Obr.3 Rosný bod spalin v závislosti na přebytku vzduchu  $\lambda$



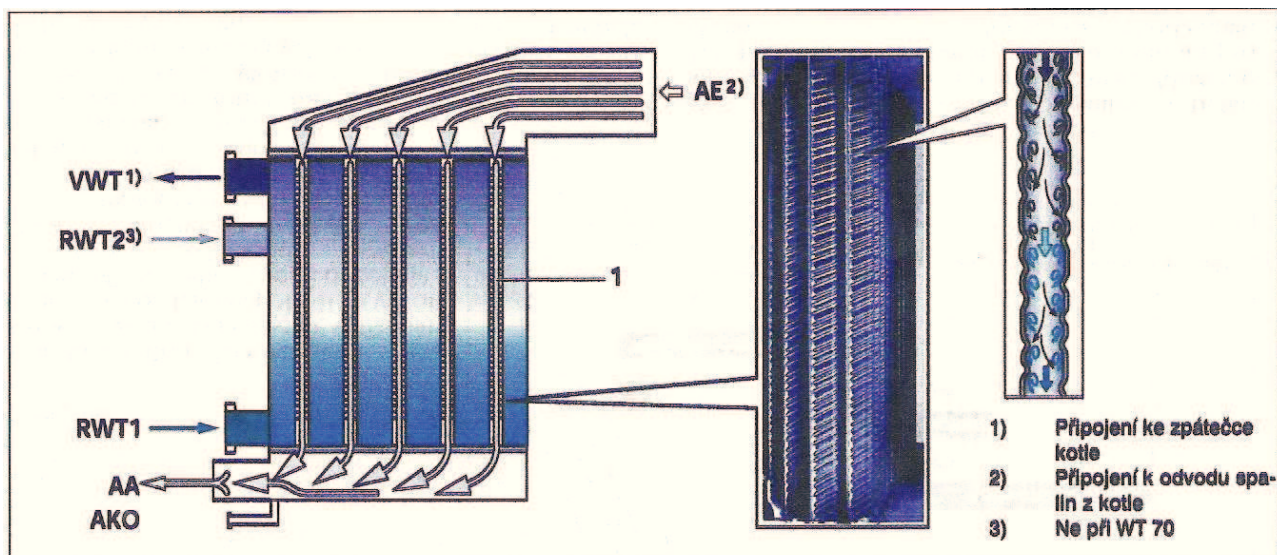
**Součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  [-]** je dán poměrem skutečného množství vzduchu, které bylo dopraveno do spalovacího prostoru k teoretickému, potřebnému pro ideální spalování. Spaliny bez přebytku vzduchu mají  $\lambda=1$ . Zvyšující se  $\lambda$  znamená horší účinnost spalování a u kondenzace způsobuje pokles teploty rosného bodu spalin. Například pro  $\lambda=1$  je u ZP teplota rosného bodu spalin 57 °C, ale pro  $\lambda=2$  je to 45 °C a pro  $\lambda=3$  jen 38 °C.

Ze závislosti na obrázku 3 lze přesně určit teplotu rosného bodu vodních par vzniklých spálením zemního plynu daným hořákem s příslušným poměrem vzduchu  $\lambda$ . Je zřejmé, že kondenzační kotel pracuje s určitým přebytkem vzduchu ( 1,2 – 1,5) a skutečný rosný bod spalin se pro zemní plyn pohybuje mezi **50 až 55 °C**.

### **2.1.1 Výměník tepla WT 30 do WT 70- Buderus - <sup>[3]</sup>**

K dosažení vysoké úspory energie jsou ke kotlům dodatečně připojeny externí výměníky. Základem pro optimální přenos tepla je teplosměnná plocha - Kondens (viz.obr.4). Její zvláštností jsou tvarované trubky s redukováným průřezem přizpůsobeným průtoku spalin. Prostřednictvím tvarování vznikají mikroturbulence u vnitřní stěny trubky a tím zvětšená kondenzační ohraničená vrstva. Tím dochází k tomu, že molekuly spalin směřují střídavě do bezprostřední blízkosti stěny trubky a do hlavního proudu. Tím se dotýká skoro celý objemový průtok spalin studené teplosměnné plochy. To způsobuje velmi vysoký kondenzační výkon. Vzhledem k redukovánému průměru tvarované trubky je rychlost spalin přibližně konstantní. To umožňuje vysoký přenos tepla při nízkých teplotách spalin. Na základě svislého uspořádání teplosměnné plochy - Kondens odtéká zkondenzovaná voda kontinuálně shora dolů. Je tak zabráněno zpětnému odpařování zkondenzované vody a usazování na teplosměnných plochách. Tím docílené samočištění kondenzační teplosměnné plochy podporuje bezporuchový provoz. Současně se snižují náklady na údržbu. Protože kotle a výměník tepla jsou spojeny v řadě, může protékat výměníkem tepla celkový objemový průtok soustavy.

Výměníky tepla WT 30, WT 40, WT 50 a WT 60 mají dvě hrdla zpětného přívodu k oddělenému připojení vysoké a nízké teploty otopné okruhů. Zpátečka nízké teploty proudí do spodní části teplosměnné plochy - Kondens, kde dochází k maximální kondenzaci. Otopné okruhy o vysoké teplotě zpětného přívodu (zpátečky) (jak při ohřevu TUV nebo při větracím zařízení) mohou být připojeny v horní části teplosměnné plochy – Kondens.



**Obr.4 Sestava výměníků tepla WT30 do WT70 s integrovanou teplosměnnou plochou - Kondens**

### **Legenda k obrázku**

1 - Teplosměnná plocha - Kondens

AA - Výstup spalín

AE - Vstup spalín

AKO - Odvod zkondenzované vody

RWT1 - Zpětný přívod výměníku tepla (nízká teplota)

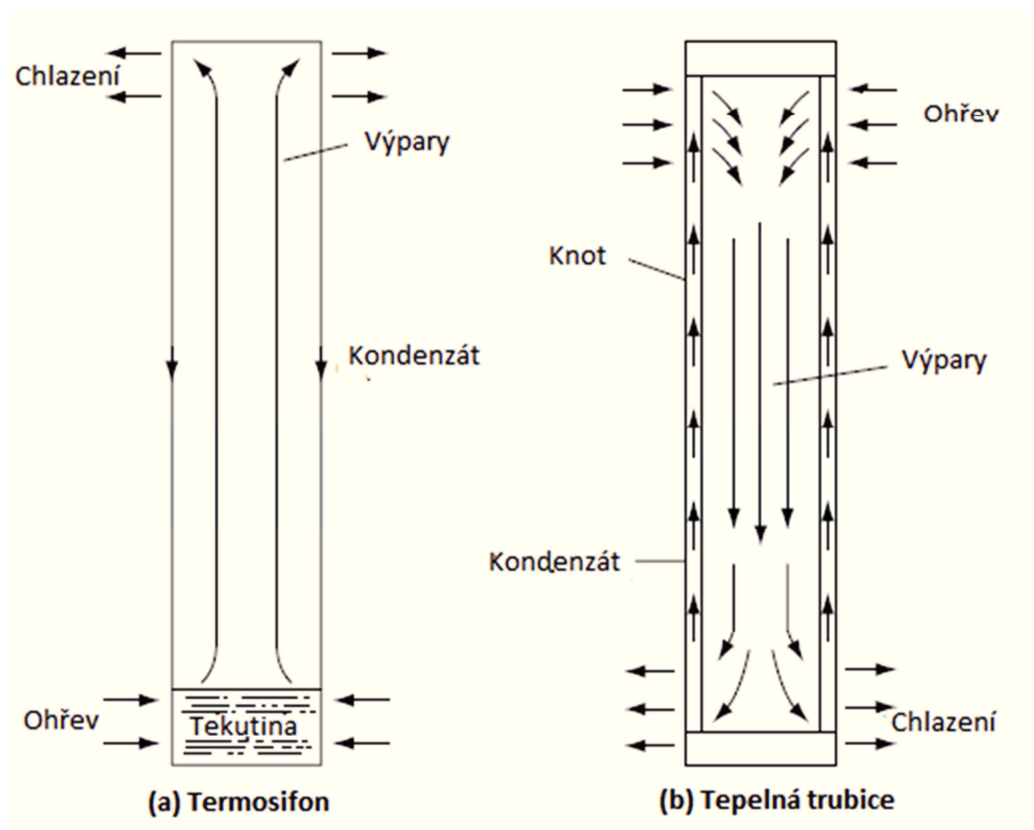
RWT2 - Zpětný přívod výměníku tepla (vysoká teplota)

VWT - Výstup výměníku tepla

## **2.2 TEPELNÉ TRUBICE – <sup>[4]</sup>**

Tepelná trubice je zařízení velmi s vysokou tepelnou vodivostí. Myšlenku tepelné trubice nejprve navrhl Gaugler v roce 1942. Ale až od roku 1960 se začal nezávislý vynálezce pan Grover zabývat praktickým využitím tepelných trubíc a začal provádět seriózní výzkum.

Podle způsobu ohřevu a dopravy náplně v trubicích se nejčastěji používají tepelné trubice gravitační bez knotu (tzv. termosifony) viz. obr.5a, nebo tepelné trubice s knotem viz. obr.5 b. Tepelné trubice pracují na podobném principu jako termosifony.



**Obr.5 Tepelná trubice a termosifon**

Utěsněná termosifonová trubice je naplněna malým množstvím tekutiny, ze které je odčerpán vzduch. Spodní konec trubky je ohříván to způsobuje odpařování kapaliny a následně pohyb páry k studenému konci trubice kde dojde ke kondenzaci kapaliny. Kondenzát se pak vrací pomocí gravitace zpět do ohřívané části trubice. Vzhledem k tomu, že latentní výparné teplo je velké, může být značné množství tepla přepravováno s velmi malým teplotním rozdílem z jednoho konce trubice na druhý konec. A tak proto má uvedená konstrukce vysoce efektivní tepelnou vodivost. Termosifony byly využívány po mnoho let a to s různými pracovními kapalinami. Jedno omezení základní termosifonové trubice je a to, že vytvořený kondenzát se vrací do výparné části gravitační silou a tím musí být trubice v kolmé pozici (tzn. že výparná část musí být umístěna co nejnižší).

Základní tepelné trubice se liší od termosifonových v tom že mají knot tvořený z několika vrstev gázy připevněný na vnitřním povrchu trubice a kondenzát využívá kapilárních sil pro návrat kondenzátu do výparné části (viz.obr.6b). V tepelné trubici není poloha výparníku omezena a může být použita v jakékoliv poloze. Pokud bude v tepelné trubci výparník umístěn dole tak budou gravitační síly společně s kapilárními silami působit na kondenzát. Výraz "tepelné trubice" se také používá k

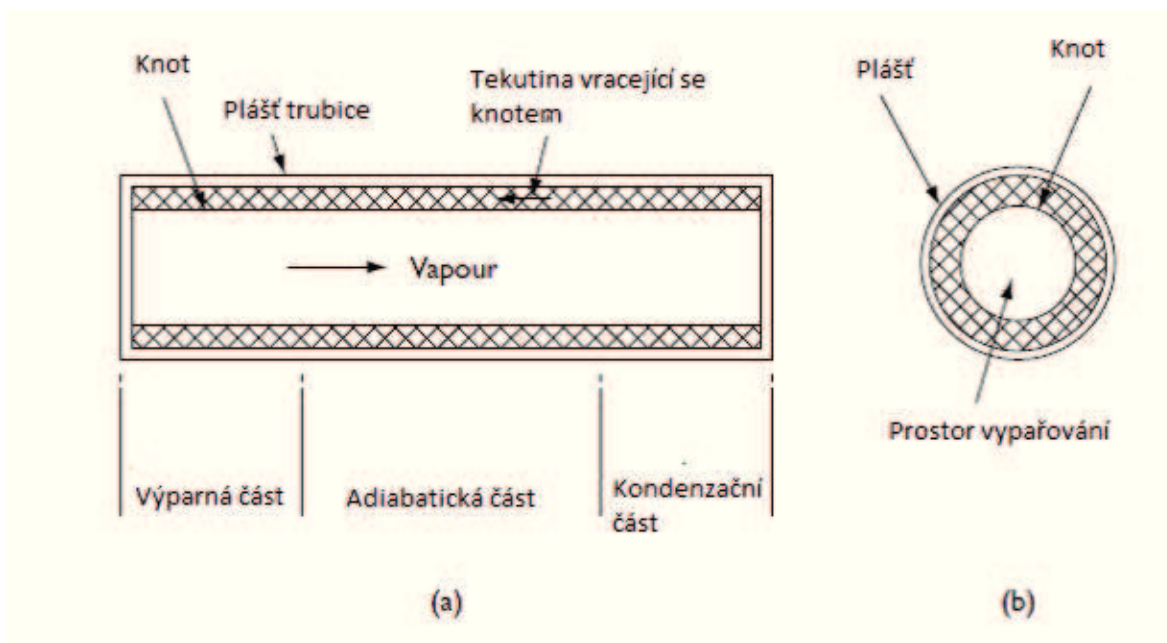
popisu vysoké tepelné vodivosti zařízení, ve kterém se návrat kondenzátu dosahuje jinými prostředky, například dostředivá síla, osmóza nebo elektro-hydrodynamika.

#### **Možnosti návratu kondenzátu využívající různé síly a to:**

- **Gravitační** – Termosifon
- **Kapilární** - Standartní tepelná trubice  
Uzavřená tepelná trubice
- **Dostředivé** – Rotační tepelná trubice
- **Elektrokinetické** – Elektrohydrodynamická tepelná trubice  
Elektro-osmotická tepelná trubice
- **Magnetické** - Magnetohydrodynamická tepelná trubice  
Magnetická tekutina v tepelné trubici
- **Osmotická** – Osmotická tepelná trubice
- **Bublinková pumpa** – Inverzní tepelná trubice

#### **2.2.1 Tepelné trubice – konstrukce, výkon a vlastnosti**

Hlavní oblasti standardní tepelné trubice jsou znázorněny na obr.5. V podélném směru (viz Obr. 6a), je tepelná trubice tvořená z výparné a kondenzační části.



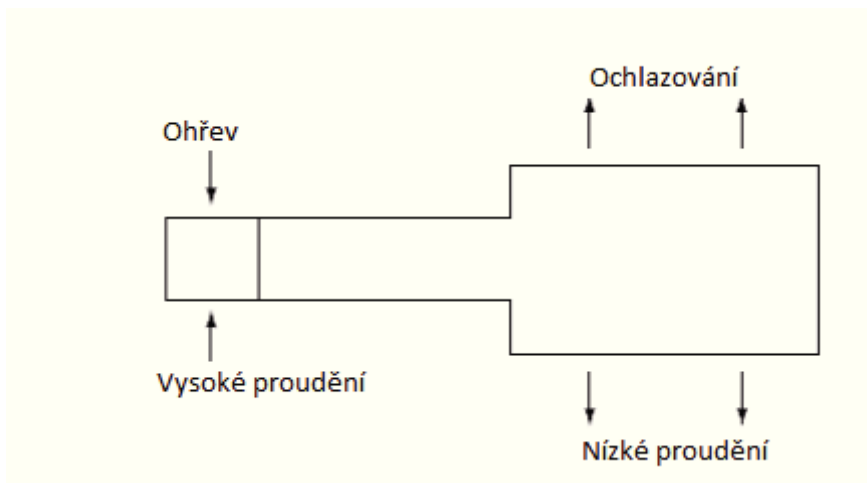
**Obr.7 Hlavní části tepelné trubice**

Pokud by vnější podmínky neumožňovaly použít trubkový tvar, může být adiabatická část oddělena od kondenzační a výparné části. Průřez tepelné trubice (viz.obr.7b), se skládá z pláště trubice, strukturou knotu a prostorem vypařování.

Výkon tepelné trubice je často vyjádřena **"ekvivalentní tepelnou vodivostí."** Tepelná trubice trubkového tvaru znázorněna na obr. 6, při použití vody jako pracovní kapaliny provozována při 150 °C bude mít tepelnou vodivost několik set krát vyšší než je vodivost mědi. Výkon tepelné trubice může být velmi vysoký – trubice využívající jako pracovní kapalinu litium při teplotě 1500 °C bude zajišťovat přenos tepla v rozmezí 10 – 20 kW/cm<sup>2</sup>. Vhodným výběrem pracovní kapaliny a materiálu trubice, je možno konstruovat tepelné trubice pro použití při teplotách v rozmezí od 4 K až do 2300 K a více. Válcový tvar tepelné trubice je využíván pro mnoho aplikací ale lze použít i jiné tvary tepelných trubic. Vysoká tepelná vodivost tepelných trubic jak již bylo zmíněno, není jediná charakteristika tepelné trubice.

#### **Další vlastnosti tepelných trubic:**

- Vysoce účinná tepelná vodivost.
- Schopnost tepelného toku působit jako transformátor viz .obr. 8.
- Izotermický povrch s nízkou tepelnou impedancí. Povrch kondenzační části tepelné trubice bude mít tendenci udržovat stálou teplotu. To znamená, že pokud tepelné zatížení v tomto místě bude vytvářet více páry a tím pádem kondenzátu má tepelná trubice tendenci udržovat teplotu na původní teplotě.



**Obr.8 Tepelná trubice jako transformátor tepelného toku**

### **Oblast využití:**

Vzhledem k malým rozměrům a velkým přenášeným výkonům:

- chlazení elektromotorů
- chlazení plynových turbín
- chlazení reaktorů
- počítačová a mikropočítačová technika

### **2.2.2 Využití tepelných trubic ve výměníku – [5]**

Firma GB Consulting vyrábí tepelné výměníky, které využívají k přenosu tepla tepelné trubice viz.obr. 9. Výhody tohoto výměníku jsou shrnuty níže.

#### **1. Delší projektová životnost**

- Robustní konstrukce (tepelné trubice k dosažení lepšího přenosu tepla nevyžadují co nejmenší tloušťku stěny) s mnohem vyšší odolností proti erozi v nepříznivých provozních podmínkách.
- Kompaktní konstrukce minimalizuje nepříznivé vlivy dilatace materiálu - prodlužování a smršťování horkých trubic v průběhu procesu je zcela nezávislé na konstrukci skříně výměníku..
- Absence pohyblivých součástí tepelného výměníku prakticky zaručuje dlouhou životnost.

#### **2. Širší uplatnění**

- Z důvodu robustnější a jednoduché konstrukce je možné tyto výměníky využít v nejnáročnějších provozních podmínkách, ve kterých bylo velmi obtížné využití klasických výměníků.
- Možnost odstranění nebo přidání tepelných trubic do výměníku umožňuje dokonalé vyladění procesu využití odpadního tepla. Tato možnost je zcela unikátní u výměníku s horkými trubicemi.
- Možnost provedení ve formě kondenzačního výměníku s dobrým odvodem kondenzátu.

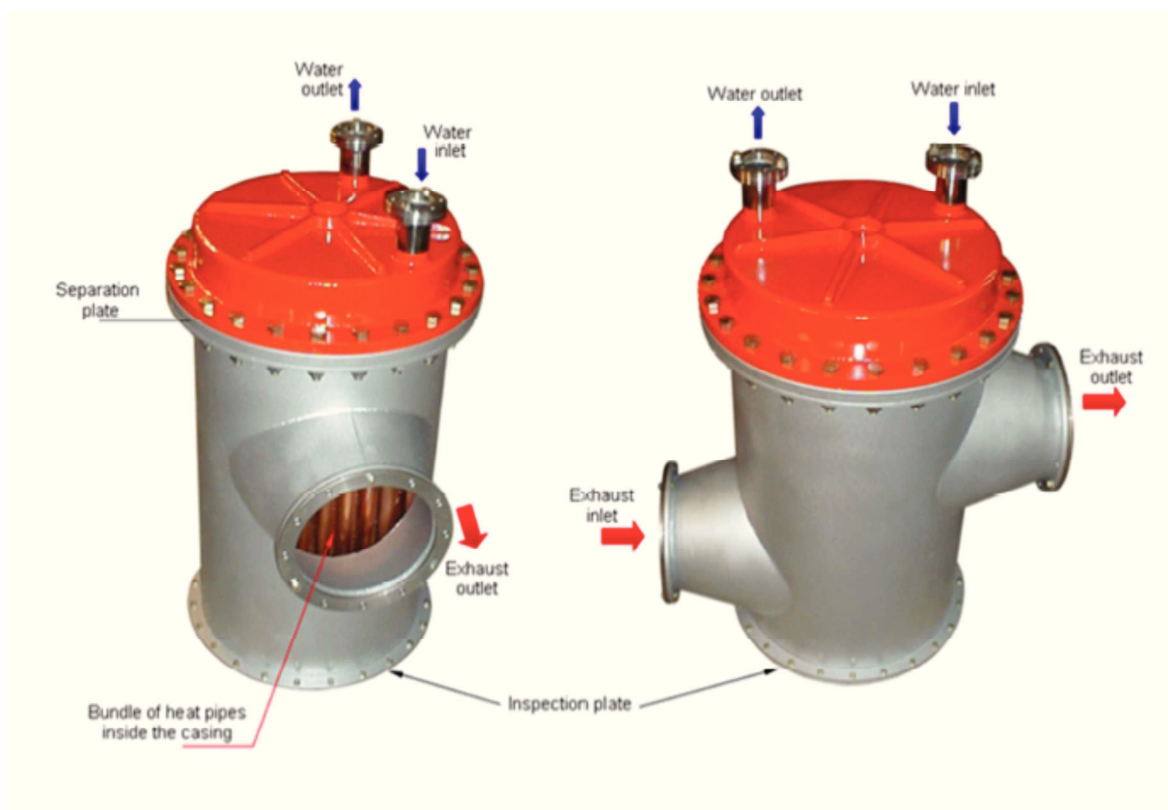
#### **3. Vyšší spolehlivost**

- Jednotlivé tepelné trubice ve výměníku pracují zcela nezávisle, případná porucha jedné trubice nevyřazuje celý výměník z provozu (poškozená trubice je vyměněna při plánované údržbě).

- Možnost aplikace široké škály povrchových úprava dostupných materiálů k účinné ochraně výměníku proti nejrůznějším náročným podmínkám odpadního plynu (kapaliny).
- Dostupnost velkého rozsahu rozměrového provedení výměníků podle zvláštních požadavků zákazníka.

#### 4. Nižší provozní náklady

- Nižší tlaková ztráta (teplosměnné plochy) a následné snížení energetických ztrát při proudění.
- Vyšší účinnost (tepelné trubice přenášejí rovnoměrněji tepelnou energii po průřezu výměníku), rychlejší návratnost.
- Snadná údržba a nižší náklady na provoz a rychlejší investiční návratnost.



Obr.9 Tepelný výměník se svazkem tepelných trubíc

Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je součástí technické zprávy. Technická zpráva bude předložena při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva s výkresovou dokumentací je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.

### 3 Závěr

Zadáním práce je návrh modelu nuceného odtahu spalin. Mezi hlavní požadavky kladené na projektované zařízení je možnost simulace vlhkosti spalin za pomoci zvlhčeného vzduchu. Ohřátý a zvlhčený vzduch je ochlazován na rosný bod při kterém dochází ke kondenzaci vodních par ve vzduchu.

Rozměry navrženého modelu jsou navrženy vzhledem k použití v laboratoři a vzhledem k energetické náročnosti. Pro přenos tepla mezi spaliny a chladícím médiem se používá svazek gravitačních tepelných trubíc (termosifony). Pro přenos tepla v termosifonové trubici je počítáno s využitím výparného tepla pracovní kapaliny.

Optimalizace teplosměnné plochy a pracovní náplně tepelných trubíc byla provedena na základě výpočtu přestupu tepla. Na základě tohoto výpočtu jsou navrženy konečné rozměry modelu včetně výkonu ventilátoru.

V navrženém modelu lze provádět simulaci přestupu tepla spalin s různými násobky stechiometrického objemu spalovacího vzduchu. Další možností modelu je sledování přechodových stavů mezi ochlazovaným médiem a svazkem tepelných trubíc, mezi chladícím médiem a svazkem trubíc a tím vlastně nepřímo sledovat transport tepla svazkem trubíc. Jednotlivé části modelu jsou rozebíratelné s možností složení do různých sestav.

Celkový konstrukční návrh včetně 3D modelu a výkresové dokumentace byl vypracován v programu Autodesk Inventor 2010.



## 4 Seznam použité literatury

- [1] - Ing. Eva Schvarzbacherová, Ph.D.. Možnosti využívání odpadního tepla spalin, Katedra energetické techniky Strojnické fakulty TU v Košicích
- [2] – Teoretické základy kondenzační techniky – JUNKERS
- [3] – Interní materiály firmy BUDERUS a.s.
- [4] - Heat-Pipes-Theory-Design-and-Applications-David-Reay-Peter-Kew
- [5] – Interní materiály firmy GB Consulting a.s.
- [6] - HUBKA, Vladimír; *Konstrukční nauka, obecný model postupu při konstruování*. 2. přeprac. a doplň. vyd. Zurich: HEURISTA: 1995.118s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [7] – Jaroslav Chyský, Vlhký vzduch, 2. Upravené a doplněné vydání 1977, SNTL
- [8] – Siemens Building Technologies, Landis & Staefa Division, h-x diagram - konstrukce a použití
- [9] – TERMOMECHANIKA, Studijní pomůcky (opora) pro kombinovanou formu bakalářského studia, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc. a spol.
- [10] - [www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/TablX.pdf](http://www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/TablX.pdf)
- [11] - [www.mssch.cz/sites/default/files/uzivatele/valentova/pT09.pdf](http://www.mssch.cz/sites/default/files/uzivatele/valentova/pT09.pdf)
- [12] - Výpočty kotlů a spalinových výměníků, Doc.Ing. Tomáš Dlouhý, CSc., ČVUT 2007, ISBN 978 80-01-03757-7
- [13] - Výpočtové postupy příčně obtékaného svazku trubek, diplomová práce, Bc. Jirí Housírek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
- [14] - Příručka sdílení tepla, S.S. Kutateladze, V.M. Borišanskij, SNTL, DT 536.2+536.72
- [15] - Interní materiály firmy ELEKTRODESIGN ventilátory s.r.o.
- [16] – Výměník tepla, diplomová práce, Bc. Zdeněk Grombříř, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování
- [17] FÍK, Josef. Zemní plyn.1.vydání, 2006 ISBN 80-86028-22-4

## **5 Seznam příloh**

Příloha č.1 – Součinitel efektivnosti žeber

Příloha č.2 – Součinitel přestupu tepla u trubek s příčnými žebry uspořádaných za sebou

Příloha č.3 – Sestavný výkres modelu pro nucený odtah spalin